

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/312134167>

A novel approach to the management of point clouds derived from scanning and photogrammetry for the optimisation of printable 3D formats [Un nuevo enfoque en la gestión de nubes de...

Chapter · December 2016

CITATIONS

2

READS

114

3 authors:



Fernando Rico Delgado

Universidad de Sevilla

38 PUBLICATIONS 59 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Juan Enrique NIETO

Universidad de Sevilla

41 PUBLICATIONS 91 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Daniel Antón

Universidad de Sevilla

42 PUBLICATIONS 77 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Educational Innovation in Building [View project](#)



3D modelling of architectural heritage using scanning techniques [View project](#)

UN NUEVO ENFOQUE EN LA GESTIÓN DE NUBES DE PUNTOS OBTENIDOS POR ESCÁNER Y FOTOGRAMETRÍA, PARA LA OPTIMIZACIÓN DE FORMATOS IMPRIMIBLES 3D

RICO DELGADO, Fernando ⁽¹⁾; NIETO JULIÁN, Enrique ⁽²⁾; ANTÓN GARCÍA, Daniel ⁽³⁾.

⁽¹⁾ Departamento de Expresión Gráfica e Ingeniería en la Edificación, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación, Universidad de Sevilla

Sevilla, España, ⁽¹⁾ fricodel@us.es; ⁽²⁾ jenieto@us.es; ⁽³⁾ danton@us.es

Resumen

Entre las distintas tecnologías actuales para captar de forma precisa la geometría de elementos, se encuentran los dispositivos de escaneado 3D láser (LS) u óptico (OS), así como la fotogrametría. Las nubes de puntos obtenidas a partir de estas técnicas necesitan de un procesamiento de los datos según el tipo de *software* utilizado. Para ello, se dispone de aplicaciones para transformar la información en modelos 3D poligonales, superficies NURBS u objetos paramétricos BIM.

Una vez obtenida esta información, surgen dificultades operativas en la impresión 3D de los prototipos escaneados, especialmente por las limitaciones que los diferentes métodos de impresión presentan en cuanto a materiales, dimensiones y calidad de resultados obtenidos. A esto hay que añadir las propias debilidades de los *software* de impresión que exigen la adición de mejoras en sus algoritmos para que proporcionen resultados óptimos.

La propuesta plantea la necesidad de un análisis en el diseño previo a la impresión 3D, considerando las características de las técnicas a utilizar posteriormente. Así, se mejora la eficiencia ambiental en la fabricación, se reducen costes del proyecto y se generan prototipos que permiten comprobar el diseño original.

Esta investigación presenta los resultados de un procedimiento de análisis de modelos digitales 3D con medios y programas asequibles, a fin de obtener archivos optimizados para facilitar la impresión 3D de prototipos.

Palabras clave: Impresión 3D, impresión BIM, escaneado 3D, optimización de modelos 3D

Abstract

A novel approach to the management of point clouds derived from scanning and photogrammetry for the optimisation of printable 3D formats

Photogrammetry and both laser and optic 3D scanning (LS and OS, respectively) are three of the diverse current technologies to obtain the geometry of elements precisely. Point clouds deriving from these techniques require data processing depending on the sort of software to be utilised. To that end, there are available applications to transform the information into 3D polygonal models, NURBS surfaces or BIM parametric objects.

Once this information is obtained, some operational difficulties in 3D printing of scanned prototypes arise. This is mainly due to the limitations of printing methods regarding materials, dimensions and quality of results. In addition, there are intrinsic weaknesses of printing software which require improvements in their algorithms in order to provide optimum results.

This proposal raises the need of analysis in design prior to 3D printing, taking into account the characteristics of techniques to be utilized afterwards. Thus, environmental efficiency in manufacture is increased, project costs are reduced and prototypes to check the original design are generated.

This research provides the outcomes of an analysis procedure of digital 3D models using affordable means and programmes, with a view to obtain optimised files so as to facilitate prototype 3D printing.

Keywords: 3D printing, BIM printing, 3D scanning, optimisation of 3D models.

1. Introducción

Actualmente coexisten dos caudales para una captura de la geometría fiel del elemento a ser examinado, edificio u objeto arquitectónico integrado, que emplean una técnica sin contacto: la tecnología por escaneado 3D, sea por láser (LIDAR- *Laser Imaging Detection and Ranging*) o por escaneo óptico; y la fotogrametría, que nos facilitan la realización de modelos tridimensionales virtuales en el ámbito de la edificación.

Las nubes de puntos producidas por los escáneres 3D pueden ser utilizadas directamente para la medición y la visualización en el mundo de la arquitectura y la construcción. No obstante, la mayoría de las aplicaciones utilizan modelos 3D poligonales, modelos de superficies NURBS, o modelos sólidos procedentes de un software CAD 3D o BIM (*Building Information Modelling*) basados en las tipologías constructivas. En ambos casos, una vez obtenidos estos modelos, nos encontramos con las dificultades que pueden presentar para su materialización en impresión 3D.

Las diferentes tecnologías en este tipo de impresiones presentan actualmente limitaciones y diferencias importantes en cuanto a dimensiones, materiales, calidad, etc., en los modelos obtenidos. Por lo tanto, dependiendo del método de impresión seleccionado o disponible, se hace necesario tener presente dichas condiciones en el diseño virtual a imprimir, y a priori, cuestiones como la adición de elementos, resoluciones o la modificación de posiciones, que faciliten resultados aceptables.

Para la realización de maquetas impresas, además de tener presente el sistema a utilizar, ya sea aditivo o sustractivo, se plantea la necesidad del análisis de los diseños gráficos a fin de tener en cuenta las características concretas de la técnica que posteriormente va a ser utilizada. Esto puede facilitar tanto al profesorado como al alumnado, no solo el conocimiento de las tecnologías actuales y su interacción, sino una mejor comprensión en la realización de diseños virtuales 3D.

Dado que los sistemas sustractivos como Fresadoras, Cortadoras Láser o Industriales, o Brazos Robóticos, no son frecuentes para el uso en el aula, centramos el presente trabajo en los sistemas aditivos relacionados con las impresoras 3D, y dentro de ellos, la tecnología de modelado por deposición de material fundido FDM (*Fused Deposition Modelling*) por el bajo coste que en la actualidad presentan este tipo de equipos.

2. Objetivos

La investigación tiene como objetivo estructurar un protocolo para facilitar la impresión 3D de prototipos que han sido capturados por técnicas de escaneo láser, óptico o la fotogrametría, así como la generación de modelos virtuales de edificios, empleando aplicaciones de Modelado de Información de la Construcción, o sistema BIM, con referencia a la geometría de las nubes de puntos. Esta generación debe ser optimizada para su uso posterior en la obtención de maquetas físicas que pueden ayudar al alumnado a una mejor comprensión de la edificación.

3. Proceso de la Investigación

Hoy en día los recursos gráficos y las técnicas de representación han experimentado un cambio substancial en esta nueva era de la información, y sería contradictorio y contraproducente no emplearlas en el levantamiento arquitectónico. Los últimos avances en técnicas de captación de las geometrías existentes son primordiales para la realización de modelos tridimensionales virtuales prácticamente idénticos al elemento o edificio examinado. Asimismo, el avance tecnológico en representación física de objetos mediante impresoras 3D requiere un estudio que optimice los resultados.

3.1. El levantamiento fotogramétrico

La fotogrametría establece la geometría de los elementos y sus posiciones respecto al espacio capturado a partir de imágenes fotográficas, sin apenas requerir medios auxiliares (andamios, grúas, plataformas voladas,...) para captar elementos inaccesibles, por lo que reduce considerablemente el tiempo de la toma de datos. Otra de las características más interesantes de la fotogrametría es su notable equilibrio entre la precisión y la cantidad de la información obtenida para su traslado a una representación efectiva del edificio.

Actualmente la fotogrametría nos permite llegar a un mejor conocimiento del edificio construido (sea o no patrimonio), como una provisión de datos de sus realidades físicas y espaciales: “un recurso para la generación del modelo tridimensional digital, formación de imágenes métricas digitalizadas; y soporte y gestión de base de datos” [1]. Pero la fotogrametría se ve actualmente algo comprometida en resaltar sus mejores cualidades ante su rival más directo: el levantamiento por escáner láser. Ante la precisión de esta última tecnología, todavía poco asequible por su alto coste, la fotogrametría sí tiene un ámbito propio, que por su bajo precio y por los resultados satisfactorios logrados la hacen necesaria y útil para la obtención de una documentación gráfica precisa y de un gran valor para el análisis arquitectónico [2]. Después de más de un siglo de experimentación [3] la fotogrametría ha pasado por una etapa de renovación y consumación, motivo por lo que es al día de hoy una técnica avalada por los agentes del sector AEC, y de manera destacada en el Patrimonio.

3.2. Captación de la geometría por Tecnología de Escáner Láser

La tecnología láser o LIDAR permite determinar la distancia desde el equipo emisor a un objeto geométrico utilizando un haz de láser. Estos equipos, divulgados como escáner láser 3D, pueden capturar de manera moderada y a muy alta resolución cualquier elemento en tres dimensiones, y posteriormente ser analizado y reproducido digitalmente en un *software* de CAD, BIM, SIG o BD. Lo que genera esta técnica es una información en forma de “nube de puntos” de alta densidad en verdadera magnitud, a partir de la cual se realizan cálculos métricos, se obtienen alzados, secciones y se vectorizan entidades, facilitándose el modelado de los elementos estudiados.

La introducción en el sector AEC se inicia con la necesidad de representar el estado real del parque edificatorio, sobre todo del patrimonio, ya que a su gran eficacia se le añade la cualidad de una precisión contrastada, sin olvidarnos que es una técnica de medición no destructiva.

3.3. El edificio virtual bajo técnicas de modelado BIM

Las nuevas técnicas de levantamiento nos proporcionan información geométrica muy precisa, adquirida por un equipo escáner láser o por una sesión fotográfica envolvente, para después de ambos procesos (escaneo o fotogrametría) ser filtrada y convertida en una nube de puntos equivalente a una imagen tridimensional representativa de la realidad. Una sesión de escaneado láser equivale a miles de mediciones individuales en un sistema de coordenadas (x, y, z), que en sí mismas componen un modelo tridimensional de los objetos registrados, aunque como tal conjunto de puntos (sin procesar) constituye un modelo muy simplificado que opera sólo visualmente, pues se compone únicamente de entidades “punto”, siendo necesaria una segunda etapa de procesamiento de los mismos para la correcta interpretación de la información captada.

Esta información geométrica es insuficiente para obtener un modelo de estudio donde diferenciar los elementos por categorías constructivas, sean estructurales, de instalaciones o los propios revestimientos, y se hace necesario y fundamental convertir la nube de puntos en objetos identificables dentro de un “todo” para entender la construcción. El modelado de información del edificio, divulgado internacionalmente como sistema BIM, es una metodología muy eficaz para la simulación del proceso constructivo y su conocimiento, principalmente para el análisis de un Edificio con larga Historia [4]. Sobre todo, constituye una herramienta de visualización fundamental para los alumnos que cursan el Grado de Ingeniería de Edificación. Sin embargo, para un entendimiento completo y pleno, se hace necesaria en ocasiones una exploración física y táctil del modelo, lo que nos ha conducido a plantear la transformación de la maqueta “virtual” en una maqueta “material” 3D.

3.4. De la maqueta virtual a la impresión 3D

El proceso de modelado que se debe establecer cuando se genera un modelo virtual en cualquier *software* BIM debe asemejarse al levantamiento real del edificio, simulando sus mismas técnicas y con un ordenamiento lógico. Además, para la impresión 3D de ese mismo modelo virtual se deben considerar otros factores importantes, más cercanos a las propiedades físicas de los materiales empleados y a la técnica de fabricación digital utilizada. Los sistemas de fabricación sustractivos eliminan material y se asocian a las máquinas de control numérico (CNC), y los sistemas aditivos aportan material endureciéndolo y se relacionan a las máquinas de prototipado rápido (RP) [5].

La realización de prototipos 3D añade una nueva dimensión a la percepción, más allá de la visual, en la arquitectura y la construcción de edificios [6], o en la ingeniería civil, que puede comenzar con el concepto de diseño y terminar con elementos de construcción totalmente automatizados [7].

Planteamos que las características y tecnologías utilizadas por estas máquinas para la obtención de maquetas físicas, deben tenerse en cuenta, en el diseño del modelo virtual previo, siendo además recomendable analizar los patrones de error que el modelo de impresora pueda presentar y abordar su compensación [8]

Esta comunicación se centra en un edificio de líneas arquitectónicas sencillas, dentro del Campus Universitario de la Universidad de Sevilla y cercano a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación, que además ha sido propuesto como modelo de estudio y análisis para los alumnos que cursan la asignatura de Expresión Gráfica de Tecnologías de Edificación. El edificio ha sido modelado mediante *software* BIM (ArchiCAD, Allplan, y Revit) según sus fases evolutivas, como si se tratase de una simulación del proceso constructivo. Este mismo edificio anteriormente fue escaneado por un equipo escáner láser 3D (ScanStation C10 de Leica), basado en tres posicionamientos circundantes, e igualmente se realizó un levantamiento fotogramétrico con una cámara fotográfica (Canon EOS 650D). La impresión física 3D se realizará con una impresora FDM de tres extrusores (3D Touch de Bits from Bytes) y material PLA (poliácido láctico), al ser éste un material biodegradable y que no emite gases nocivos.

4. Método

4.1. La gestión de las nubes de puntos

La fidelidad de las nubes de puntos no depende únicamente de la precisión del equipo sino del protocolo utilizado en la captación: planificación de los trabajos, colocación de dianas, resolución del escaneo, toma de datos topográficos, y finalmente, y por ello no menos importante, el proceso de registro de los diferentes escaneos o de las tomas fotográficas en el caso de levantamientos fotogramétricos. En esta fase se puede emplear varias técnicas: registro directo (o georreferenciado, conocida la posición del equipo y una coordenada); registro indirecto (por dianas); por comparación de nube de puntos (o por solape); todas válidas, con sus ventajas e inconvenientes [9]. Para saber cuál de ellas aplicar, como la más idónea en un caso concreto, no se tiene otra opción que valerse de la experiencia adquirida, después de realizar bastantes y variados trabajos, al no existir un procedimiento estandarizado.

En el caso de emplear un modelado paramétrico sustentado en la metodología BIM, que sostendrá todo el inventario del parque edificatorio existente o "*Inventory BIM*" para el mantenimiento de sus infraestructuras, indicar que actualmente solo existe un manual para consultas relacionadas con el modelado del Estado Actual. Son las llamadas guías de Usuarios BIM de *BuildingSmart* para España, donde se da algunas recomendaciones, muy generalistas, sobre el empleo de las distintas técnicas de medición [10].

La gran cantidad de puntos de las superficies captadas son en su mayoría innecesarios cuando la arquitectura se compone de planos sencillos, faltos de irregularidades (exceptuando el Patrimonio). Serán los puntos que definan los vértices, de rincones o esquinas, los únicos necesarios para delimitar la cara de un muro, suelo o techo. En estos casos, los elementos paramétricos básicos del *software* BIM son idóneos para evitar gran cantidad de triangulaciones de las mallas, cuando en el edificio destacan grandes superficies regulares o con ausencias de formas complejas del tipo: tallas, esculturas, impostas o molduras con motivos vegetales o alusiones alegóricas, etc.

4.2. Protocolo del Modelado arquitectónico

En primer lugar, una vez incorporada la nube de puntos en el *software* BIM (Fig. 1), hay que establecer los niveles en el proyecto y que coincidan con los posibles planos de cortes de la maqueta para su correcta impresión. Además, la maqueta debe ser inspeccionada por pisos para el mejor entendimiento de los espacios (Fig. 2); por lo que el forjado asociado a ese nivel establecerá la plataforma donde nacerán los muros del cerramiento y tabiques, accesorios y objetos muebles.

Para los elementos que discurran por varios pisos, por ejemplo, en el caso de una fachada continua en todos los niveles del edificio, como ha sucedido en el caso expuesto (Fig. 3), se deberá realizar una sección o caja 3D a la maqueta virtual que delimite los planos de arranque y fin del sector a imprimir (Fig. 6, 7, 8).

En el caso de que la maqueta incorpore ventanas y puertas, sería conveniente ocultarlas o desvincularlas del modelo completo, dejando sólo el hueco (vano) abierto (Fig. 4), posponiendo la

impresión de las carpinterías a otra fase y por separado. Esto es muy recomendable en aquellos casos en que se quiera cambiar el color o el tipo de material de impresión y diferenciar los marcos de hojas de las superficies vidriadas (Fig. 5).

Los elementos estructurales complejos, como escaleras y barandillas, deben ser analizados, y en su caso, excluidos de la impresión de cada piso. Dependiendo del diseño del objeto escalera, esta puede imprimirse con la planta correspondiente o por separado, ya que generará en todos los casos muchos apoyos para la impresión de su zanca inclinada; mientras que el objeto barandilla suele contener las característicos barrotes y pasamanos, que quedarían como filamentos difíciles de imprimir con precisión al encontrarse en su puesto habitual, es decir, en vertical. En ambos casos y en función de la escala de impresión, estos objetos se pueden colocar horizontalmente en la bandeja de la impresora 3D, de manera independiente a la impresión de la maqueta del edificio (contenedor), definiendo aquella posición que implique la menor dificultad o reducción de estructuras auxiliares.

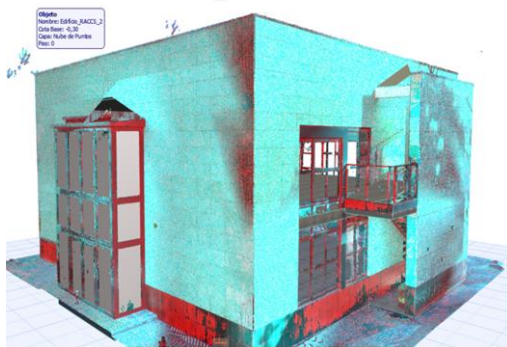


Fig. 1. Perspectiva de la nube de puntos insertada en el software BIM ARCHICAD

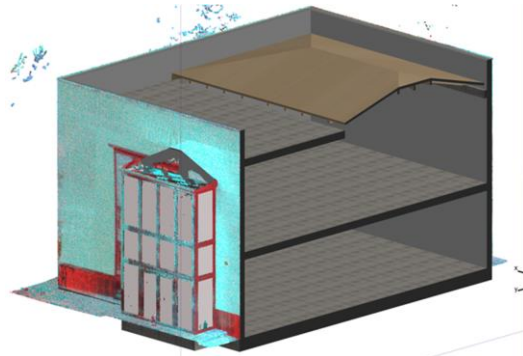


Fig. 2. Modelado del edificio utilizando elementos paramétricos referenciados

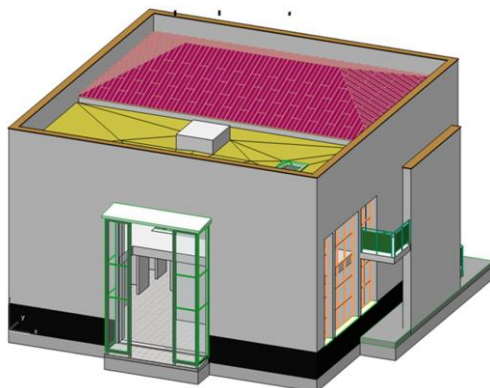


Fig. 3. Modelo BIM Arquitectónico completo

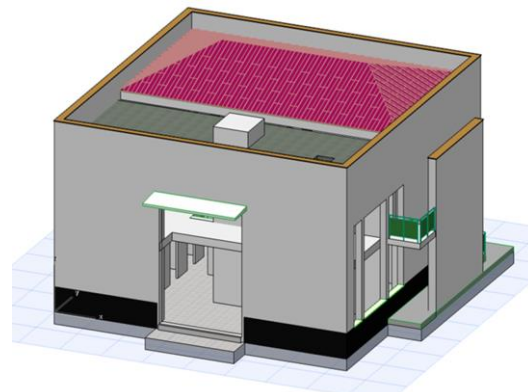


Fig. 4. Modelo BIM sin carpinterías en huecos

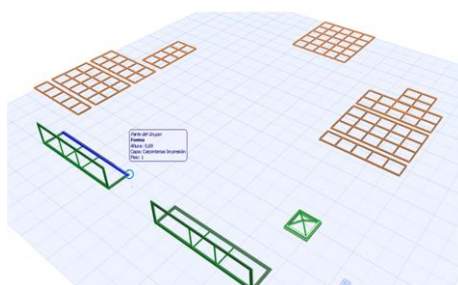


Fig. 5. Formas independientes de objetos paramétricos ventanas (1ª Impresión)

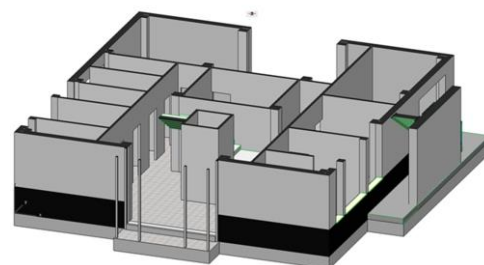


Fig. 6. Primer Corte del modelo coincidente con cara inferior forjado (2ª Impresión)

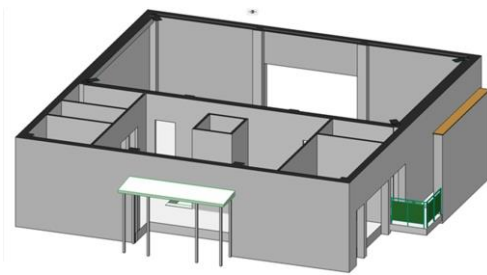


Fig. 7. Primer Corte del modelo coincidente con cara inferior forjado (3ª Impresión)

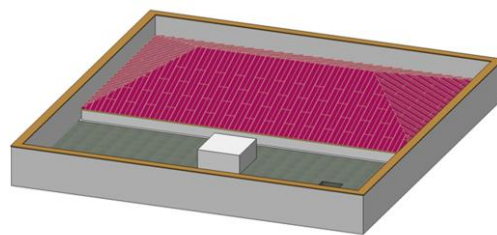


Fig. 8. Segundo Corte coincidente con cara inferior forjado de Cubierta. (4ª Impresión)

4.3. Tecnologías aditivas de impresión 3D en prototipado rápido

En la actualidad nos encontramos con varias posibilidades, tanto en la tecnología de impresión, como en el formato de impresión a utilizar. En cuanto a la tecnología destacan: SLS (*Selective Laser Sintering* o sinterización selectiva por láser), SLA (*Stereolithography* o estereolitografía) y FDM (*Fused Deposition Modelling* o modelado por deposición fundida).

Además del tipo de tecnología, existe un elevado número de formatos para impresión 3D como 3MF, STL, OBJ, PLY, FBX, WRL (VRML), DAE, 3DS y DXF, por lo que hemos decidido utilizar el fichero esterolitográfico o .STL, que no es más que una geometría triangulada con la forma final del edificio.

El STL es un formato de archivo informático de diseño asistido por computadora (CAD) que define la geometría de objetos 3D, sin incluir información como color, texturas o propiedades físicas que sí incluyen otros formatos CAD. Es el formato estándar para las tecnologías de fabricación aditiva. Utiliza una malla de triángulos cerrada para definir la forma de un objeto. Cuantos más pequeños son estos triángulos, mayor será el número de ellos necesario para cerrar la superficie del objeto, y mayor el tamaño del fichero final. Por tanto, el tamaño de los triángulos está directamente proporcionado con el peso del fichero, por lo que es aconsejable llegar a una solución de compromiso entre la resolución y el peso del fichero.

El formato STL válido para imprimir debe cumplir: Ser estanco -una única malla cerrada-, normales hacia el exterior -triángulos orientados hacia afuera-, un límite de tamaño máximo -recomendable no superar 100 MB-, un solo archivo STL por pieza a fabricar, y una malla con espesor necesario -resistencia mecánica del objeto-.

La mayoría de *software* de modelado 3D permite el guardado del archivo o exportar en esta extensión STL. En el presente trabajo se ha optado por utilizar los medios más comunes de impresión y el *software* más asequible, por lo que partimos de la obtención de un formato estándar de impresión STL de nuestro modelo, que será optimizado para su impresión en una impresora FDM, para que permita resultados aceptables en la impresión 3D final [11].

4.4. Comprobación del Modelo/Corrección de malla

Para comprobar si nuestro modelo ha sido diseñado cuidadosamente y no presenta errores en la malla (aberturas o normales invertidas, etc.), se debe revisar, y en el caso de existir, tratar de corregirlos mediante *software* (corrección de malla). Existe infinidad de aplicaciones para ello con diferente grado de complejidad en su uso, tales como Blender: (www.blender.org/download), el mencionado Meshmixer de Autodesk, Meshlab (<http://meshlab.sourceforge.net/>), o por ejemplo 3D Builder (<https://www.microsoft.com/es-es/store/apps/3d-builder/9wzdncrfj3t6>), una aplicación gratuita de Microsoft instalada por defecto en sistemas operativos Windows 10.

Como ejemplo de esta última aplicación, se puede apreciar cómo en un archivo original de un conjunto escultórico arquitectónico (Fig. 9), el programa advierte de errores (malla no cerrada) de manera automática y con un simple clic cierra la misma dejando el archivo para optimizarlo (Fig. 10).

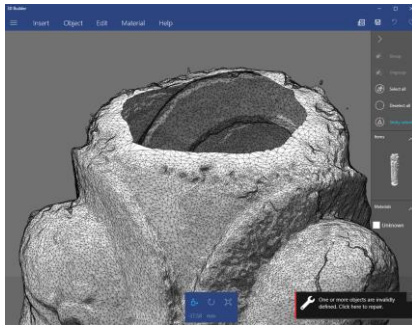


Fig. 9. Malla abierta.

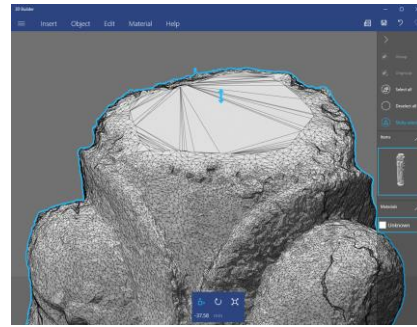


Fig.10. Malla reparada para impresión

Hay que tener en cuenta que la exportación del objeto desde un *software* de modelado 3D a un archivo estándar como el STL, puede hacer que muchas de las piezas que componen el modelo encajen unas con otras para formar la misma malla repitiéndose la información. Es por ello que el modelo 3D contiene mucha información reiterada y además puede presentar errores (agujeros o normales invertidas), lo que dificulta la visualización gráfica y la ralentiza debido a su mayor tamaño.

Otro *software* con versión gratuita que informa del número exacto de errores y los puede corregir de manera automática es Netfab Basic (<http://www.netfabb.com/downloadcenter.php?basic=1>)

Los programas mencionados también pueden simplificar la malla obtenida, con mayor o menor grado de precisión, reduciendo número de triángulos o eliminando duplicidades. En nuestro caso se ha realizado una primera comprobación con 3D Builder y posteriormente con Autodesk Meshmixer, y una vez corregidos los errores el archivo se guarda nuevamente en formato STL.

4.5. Determinación de Escala

En función de las dimensiones del modelo y de las características físicas de la impresora a utilizar (tamaño máximo de impresión), se hará necesario analizar geométricamente el modelo para determinar si es necesario dividir en varios archivos la maqueta virtual —especialmente si las dimensiones del edificio lo requiere—, y decidir cuál es la posición óptima de colocación en la bandeja de impresión.

Segmentación o división en partes

Puede realizarse desde el archivo de origen en el programa de modelado, presentando grandes ventajas en BIM. En el caso de no disponer de un modelo BIM en partes, o que estas requieran de un aumento de escala, es posible la segmentación de la maqueta virtual mediante *software* editor, como Autodesk Meshmixer (Fig.11).

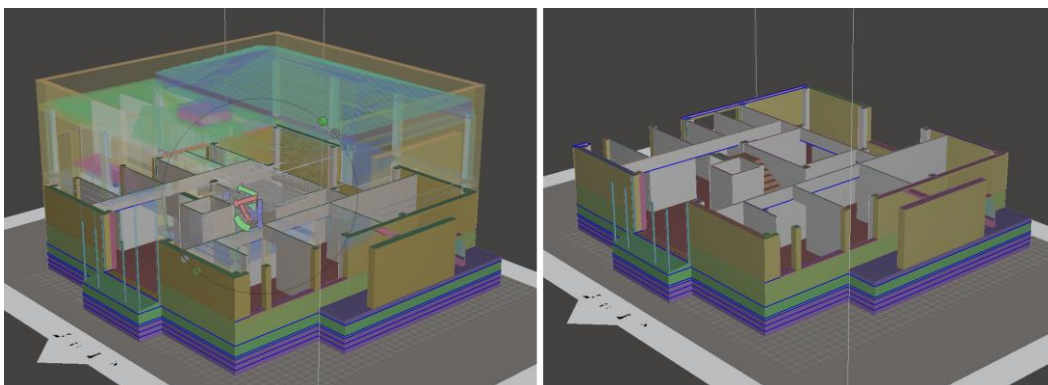


Fig. 11. Modelo seccionado con plano de corte horizontal a nivel de forjado

En nuestro caso, se han eliminado las carpinterías previamente en el modelo BIM ya que si la malla fuese un único objeto cerrado con todos los elementos incluidos, presentaría una mayor dificultad de impresión en ellos. Asimismo se eliminaría la posibilidad de imprimirlos en otro color o con otro material.

Resistencia física

Necesaria a obtener en los elementos arquitectónicos una vez imprimidos y que puede ser una de las razones que obligue a la modificación de la escala del modelo, y su necesaria división en partes. Por ejemplo, pueden aparecer divisiones interiores como tabiques inferiores a 0,5 mm de espesor, lo cual es poco recomendable dada la fragilidad que se obtendría. Asimismo, barandillas, carpinterías, etc., pueden presentar dimensiones no aconsejables. En el caso expuesto, las dimensiones totales del modelo propuesto recomiendan su segmentación.

Posición óptima para impresión

Debe tenerse en cuenta que para la impresión se tendrán que definir en el *software* concreto, los soportes que sustentarán los voladizos. Dependiendo del modelo de impresora, este *software* puede ser propietario o libre. En todo caso, se generarán en dinteles, huecos y escaleras del edificio (Fig. 12).

La rotación del modelo puede optimizar la posición para necesitar el menor número posible de soportes, que tendrán que ser retirados al finalizar el prototipo. Una solución óptima para aquellos modelos de impresoras FDM avanzadas que dispongan de dos extrusores, es utilizar un material como el PVA (Acetato de polivinilo) que es un polímero obtenido mediante la polimerización del acetato de vinilo, que es soluble al agua, lo que lo hace muy fácil de eliminar una vez finalizada la impresión sumergiendo el prototipo en agua. Los soportes se pueden configurar en forma, densidad, inclinación, etc., para facilitar su retirada posteriormente.

En el caso de edificaciones, la segmentación en altura es recomendable realizarla a nivel de forjado, pues de este modo se evitarán soportes en la base de los cortes superiores al apoyar el modelo sobre una superficie plana (el forjado superior), que además facilita la adhesión a la plataforma de impresión.

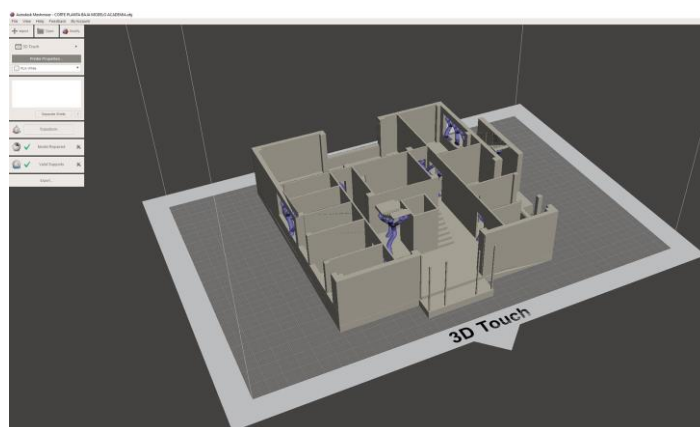


Fig. 12. Soportes creados en vuelos

4.6. Obtención del archivo de impresión G-Code

Dependiendo de nuestro modelo de impresora y si esta permite el uso de otra aplicación diferente a la original (*software* propietario), podremos obtener ventajas en cuanto a regulación de parámetros y sobre todo calidad y velocidad de impresión que suelen ser dos valores inversamente proporcionales. En nuestro caso utilizamos Kisslicer (<http://www.kisslicer.com/>), que es un *Software* gratuito con muchas más posibilidades de regulación de parámetros en la preparación del modelo imprimible.

La finalidad de estas aplicaciones es convertir el modelo digital revisado (una representación tridimensional de una superficie hermética, subdividida en una malla triangular) en una lista de comandos (mediante lenguaje de programación) que nuestra impresora 3D pueda entender y ejecutar, generalmente llamados Código G/G-Code (rebanado o fileteado).

Consiste en dar esa lista de instrucciones a la impresora, ya sea a través de una conexión USB a un PC o copiando el archivo en una tarjeta de memoria que puede ser leído directamente por la propia impresora (conexión), determinando el proceso las posiciones x, y, z, de todos los puntos que definen la malla, mediante cortes de planos horizontales (Fig. 13).

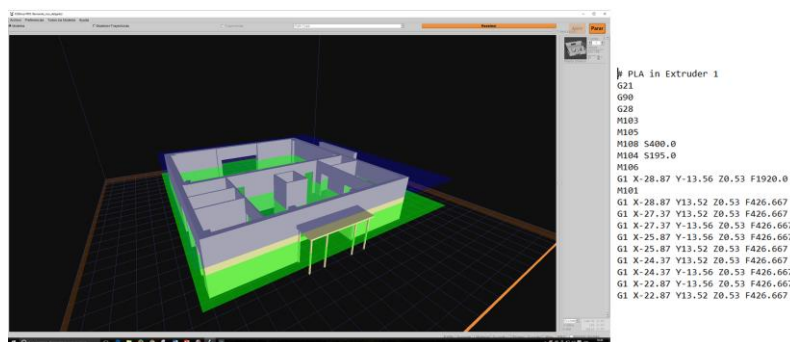


Fig. 13. Generación de G-Codes mediante planos de corte

Resolución y tiempo de impresión

Se tendrán que configurar las opciones deseadas (Fig.14) buscando un equilibrio entre la resolución y la velocidad de impresión que son inversamente proporcionales, teniendo en cuenta varios factores como el % de relleno, número de vueltas en superficie exterior, espesor de capas, materiales y temperaturas, soportes, etc.

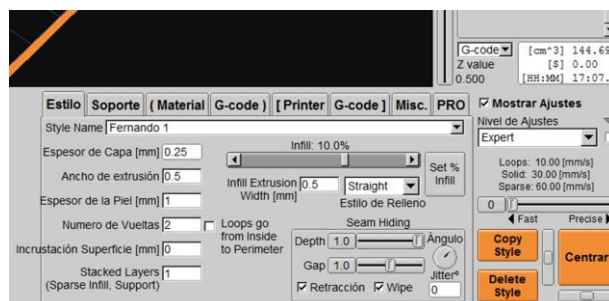


Fig. 14. Definición de parámetros de impresión

5. Resultados y Conclusiones

Una de las primeras conclusiones es que se puede ratificar el potencial de la técnica Fotogramétrica y la LIDAR para captar con precisión la realidad que nos rodea. No obstante, hay que reconocer que son técnicas que aún no están sujetas a una normalización, sea en España o a ámbito internacional, que facilite una gestión eficaz de la información suministrada. Es frecuente observar que cuando se encarga un estudio métrico con esta técnica, no se tenga en cuenta en muchas ocasiones con qué fin se lleva a cabo.

La complejidad y variantes que se presentan al abordar la impresión 3D de modelos arquitectónicos nos lleva a las siguientes conclusiones:

Sobre el método de obtención/definición del modelo

Se comprueba que en modelos que no presenten dificultad geométrica, la realización de una maqueta virtual mediante sistemas BIM es la opción idónea, pues permite en origen controlar las partes y su individualidad, para crear archivos independientes que posteriormente completen con mayores posibilidades de edición, la maqueta impresa. En el caso de complejidad geométrica (como por ejemplo en patrimonio) el método más rápido y económico es la fotogrametría, si bien puede necesitar de elementos auxiliares para zonas de difícil acceso como cubiertas (por ejemplo drones). En este tipo de levantamientos la opción más precisa es evidentemente el escáner láser, que además de ser equipos económicamente elevados generan archivos (nubes de puntos) muy grandes. En todos los casos se hace necesario disminuir el tamaño de los archivos antes de su procesado y revisión.

Sobre la necesidad de optimización de malla, geometría y partes

Es innumerable el *software* dedicado a edición de mallas, variando la complejidad de uso y las posibilidades de unos u otros programas. En el presente trabajo se han indicado algunos de los que consideramos de menor complejidad en el uso, y libres o gratuitos. Por su parte, la reducción de vértices y polígonos, la comprobación de las normales y el cierre de la malla, son tres pasos

necesarios para poder plantear un archivo imprimible que no presente errores. Además, dadas las dimensiones habituales en edificación y las reducidas dimensiones volumétricas de impresión en las impresoras no industriales, se hace necesario segmentar o dividir el modelo en partes, analizando la geometría y la posición de impresión para facilitar la deposición de material en el caso de impresoras de extrusión, y teniendo en cuenta el ensamblaje final y los soportes que se deben configurar para los elementos volados del modelo. Se recomienda realizar como primera impresión aquellos elementos más desfavorables por su tamaño y resistencia mecánica (p.e. carpinterías) que serán los que determinen la escala necesaria para el conjunto.

Sobre la necesidad de optimización de archivo de impresión

Las características técnicas de la impresora a utilizar definirán las limitaciones en tamaño, material a utilizar, calidad de impresión (resolución) y velocidad de impresión. El volumen de material utilizado también nos indicará el coste aproximado del modelo a obtener indicando el precio por cm³ del dicho material, suministrado generalmente en rollos o bobinas.

Se hace necesario minimizar la creación de soportes para aquellas partes de la maqueta que sobrepasen los 45º con respecto a la vertical, y en todo caso, planteamos el uso de material que facilite el retiro de estos soportes para mejorar la calidad del acabado final. En este sentido, el PVA (alcohol de Polivinilo) es un material idóneo ya que al ser soluble en agua facilita esta retirada, si bien obliga a la utilización de impresoras con al menos dos extrusores, lo cual encarece el equipo.

Por último, hay que destacar que los resultados en los prototipos físicos conseguidos pueden presentar deficiencias importantes en las terminaciones. Esto se debe a que existen en esta tecnología factores variables que requieren revisión continua por parte del operador y que, en la mayoría de los casos, es necesario abordar un proceso de post-impresión para mejorar los acabados superficiales obtenidos.

6. Citas y Referencias bibliográficas

- [1] Fernández Martín, J. J. & San José Alonso, J. (2001). Metamorfosis Fotogramétrica. *Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica EGA*, 6, 88-94.
- [2] García, J. L. P., Calvache, A. T. M., Escarcena, F. J. C., & Arenas, A. L. (2011). Fotogrametría de bajo coste para la modelización de edificios históricos. *Virtual Archaeology Review VAR*, 2(3), 121-125.
- [3] Buill, F., Núñez, M. A. & Rodríguez, J. J. (2007). *Fotogrametría arquitectónica*. Ediciones UPC de la Universidad Politécnica de Cataluña.
- [4] Nieto Julián, J. E., Moyano Campos, J. J. & Fernández-Valderrama Aparicio, P. (2014). Implementación de las nuevas técnicas de levantamiento en el sistema BIM (Building Information Modelling). En S. Llorens (Presidencia), *XII Congreso Internacional de Expresión Gráfica Aplicada a la Edificación*. Conferencia llevada a cabo en el Congreso APEGA, Madrid, España.
- [5] García Alvarado, Rodrigo. (2011). Fabricación digital de modelos constructivos: análisis de equipos y procesos. *Revista Facultad Ingeniería Universidad Antioquia*, 59, 145-157.
- [6] Modeen, T. (2005). CAD/CAMing: The use of rapid prototyping for the conceptualization and fabrication of architecture. *Automation in Construction*, 14(2), 215-224.
- [7] Harsha, N., Sukrutha, N. & Nagabhushan, S. (2013). The Scope of Rapid Prototyping in Civil Engineering. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 4(8), 3506-3508.
- [8] Cajal, C., Santolaria, J., Velazquez, J., Aguado, S. & Albajez, J. (2013). Volumetric error compensation technique for 3D printers. *Revista Procedia Engineering*, 63, 642-649.
- [9] Soria Campos, A. (2016). Técnicas en nubes de puntos. Hacia la estandarización en el uso de las nubes de puntos en BIM. En M. B. Fuentes Giner & I. Oliver Faubel (Presidencia), *Congreso Internacional BIM*. Conferencia llevada a cabo en el Congreso EUBIM, Valencia, España.
- [10] Documento D2-Estado Actual. Guía de Usuarios BIM de España. Recuperado de <http://www.buildingsmart.es/bim/gu%C3%ADas-ubim/>
- [11] Gibson, I., Kvan, T. & Wai Ming, L. (2002). Rapid prototyping for architectural models. *Rapid Prototyping Journal*, (8)2, 91-95.

RELLENAR ESTA FICHA Y SITUARLA EN LA ÚLTIMA PÁGINA

Todos los datos personales se eliminarán posteriormente para proceder a su evaluación de forma anónima.

Nombre del autor de correspondencia	FERNANDO	
Apellido 1 del autor de correspondencia	RICO	
Apellido 2 del autor de correspondencia	DELGADO	
Universidad	UNIVERSIDAD DE SEVILLA	
Escuela	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE EDIFICACIÓN	
Departamento	EXPRESIÓN GRÁFICA E INGENIERÍA EN LA EDIFICACIÓN	
Empresa o Estudio	--	
Ciudad	SEVILLA	
País	ESPAÑA	
Email y teléfono	fricodel@us.es / 629952360	
Código de identificación del resumen (ID)	124	
Señalar con una "x" el área temática más afín a su contribución		Topografía, cartografía y SIG
		Dibujo Arquitectónico
		Diseño y espacio habitable
		Innovación Docente
	x	Levantamiento del Patrimonio Arquitectónico
		Análisis Gráfico de Edificación
		Dibujo en la Historia de la Construcción
	x	Modelado de información de construcción (BIM)
		Restituciones virtuales y Realidad Aumentada
		Aplicaciones TIC
	x	Modelos, maquetas, impresión 3D
		Últimas tendencias en dibujo y representación